

ПРОЕКТИ НА ЕКА ЗА ИЗСЛЕДВАНИЯ С РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯ НА МИКРОГРАВИТАЦИЯ

Таня Иванова, Иван Дандолов

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: tivanova@space.bas.bg; dandolov@space.bas.bg

Ключови думи: EKA, EMCS, Biolab, MELiSSA, микрогравитация, висши растения

Резюме: Разгледана е апаратурата на Европейската космическа агенция за експериментални изследвания с растения в условия на микрогравитация на борда на Международната космическа станция - EMCS (Европейска модулна култивационна система) и Biolab (на която бяхме поканени да провеждаме изследвания по проекта SURE). Специално внимание е отделено на грандиозния проект MELiSSA за създаване на наземна затворена екосистема на базата на висши растения и микроорганизми за осигуряване на живота на екипажите при бъдещите дългосрочни космически мисии на Луната и Марс.

ESA PROJECTS FOR PLANT RESEARCH IN THE CONDITIONS OF MICROGRAVITY

Tania Ivanova, Ivan Dandolov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: tivanova@space.bas.bg; dandolov@space.bas.bg

Keywords: ESA, EMCS, Biolab, MELiSSA, microgravity, higher plants

Abstract: A brief description is made of the European Space Agency's equipment for plant experiments in microgravity onboard the International Space Station - EMCS (European Modular Cultivation System) and Biolab (we were invited to join the project SURE). Special attention is paid to the spectacular project MELiSSA, focused on the creation of a closed-loop ecological system, based on higher plants and microorganisms for the life support of the crews during the future long-term manned missions on the Moon and Mars.

Въведение

При бъдеща мисия до Марс и обратно, с продължителност от минимум 500 дни, за шестчленен екипаж ще са необходими около 30 тона провизии (O₂, вода, храна) или средно по 5 кг на човек на ден. Съвременните космически кораби осигуряват пренасянето на около 9 тона полезен товар, и то при излитане от лунната повърхност. Новите технологии правят възможно рециклирането на водата и въздуха, но не и производството на храна. Това е и основната причина, растенията да се разглеждат като основно и незаменимо звено в биологичните системи за осигуряване на живота (БСОЖ) на космонавтите. Те са идеалния източник на храна, като едновременно с това спомагат за рециклиране на въздуха и водата, а не на последно място благотворно влияят и върху психологическото състояние на екипажа. Основните минуси при отглеждане на растения са бавните темпове на производство на полезна биомаса, високия процент на отпадъчни продукти (около 50% от произведената биомаса), необходимостта от непрекъснато подаване на хранителни вещества, непълно използване на енергията на светлината, трудно моделиране на процесите на развитие, както и чувствителността им към патогенни организми [1,2].

За да се стигне до реалното използване на растенията, като звено в БСОЖ е необходимо да се натрупат достатъчно познания и опит относно отглеждане на растения в затворена среда в условия на микрогравитация [3,4].

Според програмата за изследвания с растения на Европейската космическа агенция (ЕКА) основните етапи, които трябва да бъдат изминати са:

1. Провеждане на научни изследвания на поведението на растения при различна гравитация в диапазон $0 \div 2$ g, за да бъде проучена биологията им при лунна (0.17 g) и марсианска (0.38 g) гравитация;
2. Систематичен анализ на всички фази на растеж и репродукция на растенията по време на пълния жизнения цикъл на развитие, с цел да се намерят критичните места и така да се оптимизира използването на ресурсите в бъдещите БСОЖ;
3. Преминаване към пълноценно използване на висшите растения в БСОЖ.

За постигане на горните цели е необходимо да се проведат задълбочени изследвания в областта на:

- адаптивен контрол на средата;
- методите за доставяне на хранителни вещества за растенията;
- оптимизацията на източниците на светлина;
- методи за откриването и отстраняването на патогенни организми.

Това ще спомогне за разработването на принципно нова апаратура с цел максимално автоматизиране на процесите по отглеждане на растения.

В момента две апаратури - разработка на ЕКА осигуряват възможности за експерименти с висши растения на борда на Международната космическа станция (МКС) в условия на променлива гравитация $0 \div 2$ g създадена с центрофуги. Въпреки ограничения обем на експерименталните контейнери (за сравнение камерата на КО СВЕТ е с размери 330x330x400 mm), те поставят едно добро начало, което в сравнително кратки срокове ще доведе до пълноценното им използване в космическите полети и при експедициите до Луната и Марс [5].

EMCS – Европейска модулна култивационна система

EMCS (European Modular Cultivation System) е изстреляна на МКС с мисията STS-121 през юли 2006 година (фиг. 1а). Инсталирана е в американската лаборатория Destiny [6]. Предназначена е за експерименти с растения в малки експериментални контейнери с размери 60x60x160 mm за изучаване влиянието на микрогравитацията върху началното им развитие и растеж (фиг.1б). Предвидени са и експерименти с насекоми и земноводни, а също и такива с клетъчни и тъканни култури. EMCS е разработена в рамките на договор на ЕКА с екип, ръководен от Astrium, Германия. Планирано е системата да бъде в експлоатация поне десетина години.



Фиг.1. Апаратурата EMCS: а) Общ изглед; б) Зареждане на експериментален контейнер

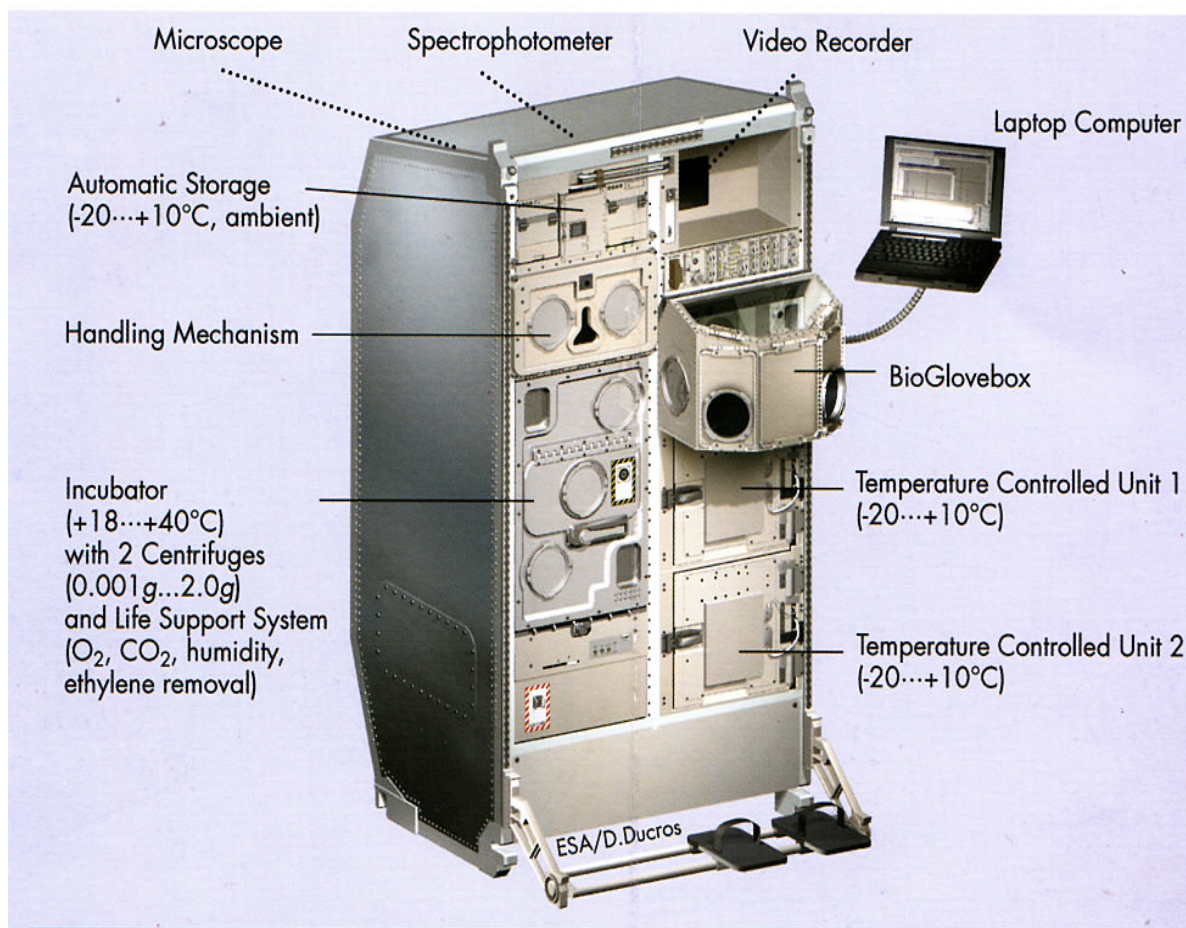
EMCS се състои от херметизиран инкубатор в който са монтирани 2 центрофуги с по 4 експериментални контейнера на всяка. Във всеки ротор на центрофугите са поместени и резервоарите за прясна и отпадъчна вода, осветителната система и системата за наблюдение. Роторите са с програмируема скорост на въртене, осигуряваща от 0.001g до 2g.

Концентрацията на O_2 и CO_2 се регулира в широки граници, като етиленът се отстранява. Извън инкубатора са управляващият компютър и системата за регулиране на температурата. Тъй като EMCS обслужва различни учени, всеки експериментален контейнер има стандартен интерфейс за свързване към ротора. Контейнерите с предварително подготвени експерименти се доставят чрез транспортни кораби на МКС.

В сътрудничество с Ames Research Center на НАСА, в EMCS са проведени серия експерименти (TROPI) за изследване на фототропизма при висшите растения в условия на микрогравитация в периода 2006-2010 [7,8]. Целта е да се установи как корените на растенията реагират на различни нива на осветеност и при различни нива на гравитация. Резултатите показват, че червената и синята светлина се отразява на растежа на растенията по различен начин в зависимост от нивото на гравитация. Оказва се, че може да се подобрят растежа на корените и надземната част на растенията в условия на микрогравитация чрез по-прецизна настройка на осветлението на растенията в зависимост от гравитацията. Изследвания на влиянието на параметрите на светодиодно осветление върху салатени култури се провеждат и в Лабораторията на секция „Космически биотехнологии“ [9].

Biolab - лаборатория за биологични изследвания

Biolab е изстреляна на 7 февруари 2008 г. с европейската лаборатория Columbus (фиг. 2). Biolab създава необходимата среда за експерименти с микроорганизми, клетъчни и тъкани култури, малки растения и безгръбначни [10]. Целта е да се установи какво е въздействието на микрогравитацията върху живите организми – от клетката до сложен организъм.

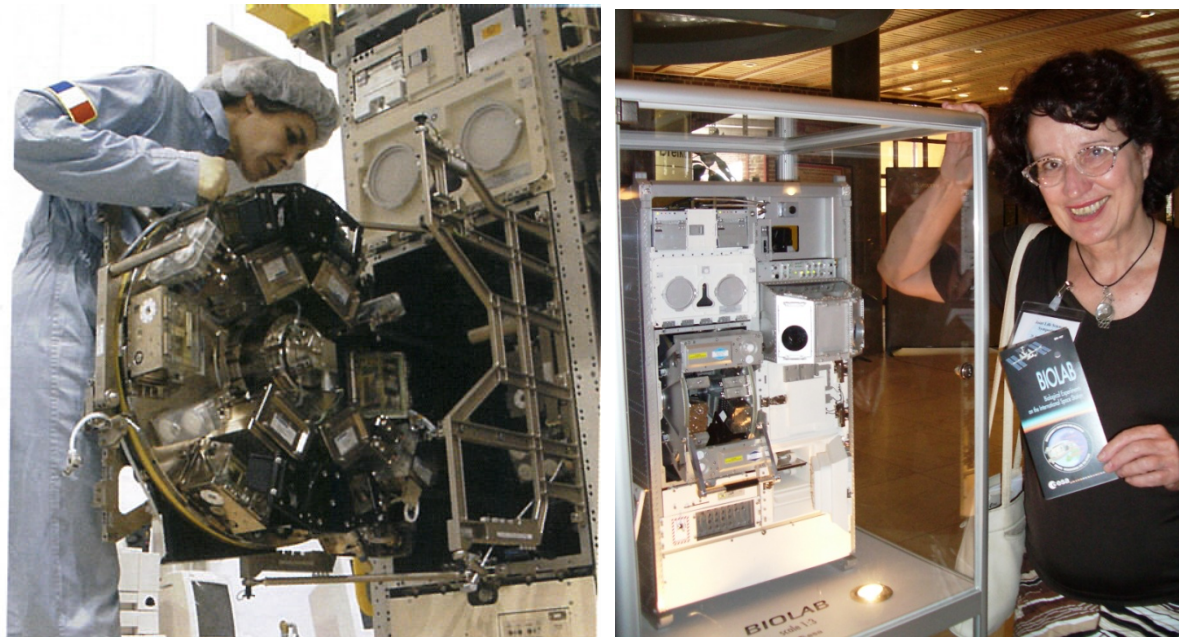


Фиг. 2. Схема на основните възли на системата Biolab

Biolab се състои от две секции, като автоматизираната секция представлява инкубатор съдържащ системи за поддържане на живота и две центрофуги осигуряващи променливо ускорение (фиг.3а). В тази секция контролът на околната среда по време на експеримента, взимането на биологични проби и анализа им се осъществява автоматично. По правило един и същи експеримент се провежда едновременно в двете центрофуги при 0g и 1g. Паралелно с

двата космически се изпълнява и трети наземен референтен (синхронен) експеримент с продължителност до 3 месеца [11].

Центърът за управление на Biolab отговаря за изпълнението на съответните операции според изискванията на учените заложили експеримента. Предоставена им е възможността те да следят и управляват провеждането на експеримента от Земята (telescience). Това намалява чувствително времето отделяно от екипажа за поддържащи дейности по апаратурата и експериментите. Изискването за отвореност на системата към множество потребители е реализирано чрез използването на стандартни експериментални контейнери с размери 60x60x100 mm, осигуряващи запазването на биологичните проби от вредни въздействия. Анализът на пробите се извършва на място чрез наличните микроскоп и спектрофотометър. Данните и изображенията се предават в реално време към потребителите на Земята. В секцията с ръчно обслужване се извършва първоначалната подготовка на експериментите, обработка на биологични проби и запазването им при подходяща температура след приключване на експеримента.



Фиг. 3. Апаратурата Biolab: а) Поставяне на центрофуга; б) До макета (1:3) на Biolab в Кьолн, 2005 г.

Възможностите за включване в програмата за изследвания на Biolab бяха обсъдени с българските учени на Симпозиума Life Sciences организиран от ЕКА през юни 2005 г. в Кьолн, Германия (фиг.36). В началото на 2006 г. в Дома на учените в София представители на ЕКА ни предоставиха уникалната възможност, без да сме членки на ЕКА, да участваме в проекта „SURE“ за използване на Международната космическа станция за научни изследвания. Спечелени бяха 4 от общо 11 европейски класирани проекта, но и тогава не се намериха в държавата ни средства за минималното съфинансиране и за съжаление отпаднахме.

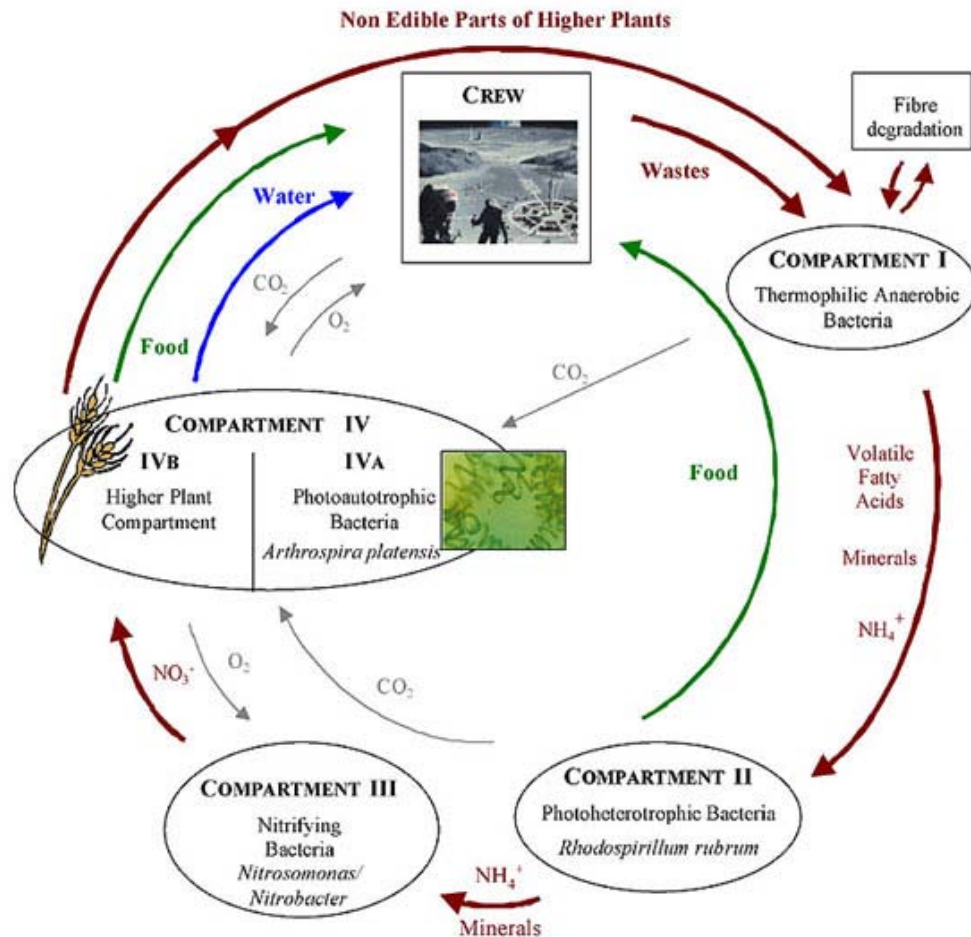
През февруари 2008 г. френският астронавт Леополд Еярц провежда в Biolab първия експеримент WAICO (Waving and Coiling of Arabidopsis Roots) изследващ влиянието на гравитацията върху растежа на корените на растенията. Засадените семената на две разновидности на Arabidopsis се развиват в продължение на 10-15 дни, при контролирани температура, влажност, осветеност и съответно при 0g и 1g. Растежът на корените е заснет на видео, а телеметричната връзка позволи на учените на Земята, да наблюдават в реално време експеримента. След завършването му, покълналите семена бяха залети автоматично със фиксираща течност, за да бъдат запазени без изменение за по-нататъшен анализ. Информацията как точно гравитацията влияе на растежа на корените и на появата на огъвания, ще позволи по-добре да се разбере механизма на растежа на растенията като цяло, за да се подберат най-подходящите сортове растения за култивиране в космически условия [12].

Проект MELiSSA - наземна затворена екосистема

Проектът MELiSSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative), алтернатива за микро-екологична система за поддържане на живота, е един от най-амбициозните проекти на ЕКА. Започнат през 1989, той неотстъпно преследва поставената цел - чрез експерименти и

натрупан опит да се стигне до инженерни решения и надеждна летателна апаратура [13]. Все още всички експерименти по проекта се провеждат в наземни условия, като най-новата пилотна инсталация на MELiSSA е изградена и пусната в експлоатация през 2009 и успешно работи в Автономен Университет, Барселона. В проекта са включени над 30 организации от Европа и Канада. Финансира се от бюджета на ЕКА и от националните бюджети за наука, както и от частни инвеститори.

MELiSSA представлява затворена екосистема, в която нежеланите отпадъчни продукти и замърсители на въздуха се отстраняват, като се използват естествените функции на бактерии и растения, които на свой ред осигуряват храна за астронавтите и допринасят за пречистването на водата и произвеждат кислород [14].



Фиг. 4. Схема илюстрираща основната концепция на MELiSSA

MELiSSA се състои от 5 автономни, но взаимно свързани отделения (фиг. 4). В три от тях (биореактори), отпадъчните продукти се разграждат постепенно чрез ферментационни процеси. Четвъртото отделение за висши растения работи в паралел с отделението съдържащо фотосинтезиращата бактерия *Arthrospira platensis*, по-известна като спиролина. Петото отделение на MELiSSA моделира жилищния отсек на космонавтите, като в момента се обитава от опитни плъхове [15].

ЕКА е все по-близо до разработване на ефективна, компактна, с малка маса и минимална поддръжка биологична система за осигуряване на живота при бъдещите дългосрочни космически мисии, която да функционира в ограничената среда на космическите кораби. Основните задачи по отглеждането на висшите растения включват:

- ✓ Проектиране на хардуера и софтуера за управление на параметрите в камерата за отглеждане на растения;
- ✓ Разработване на биотехнологии за отглеждане на здрави растения;
- ✓ Моделиране поведението на растенията в условията на намалена гравитация;
- ✓ Разработване на методи за предпазване от микробно заразяване;
- ✓ Определяне на хранителна стойност и изготвяне на рецепти за менюто на астронавтите.

Два от разработените по проекта MELiSSA биореактори се използват за пречистване на отпадъчните води в най-новата френско-италианска станция Concordia в Антарктика. ЕКА кани и българските учени да участват в проекта за разработка на орнжерийна система за производство на храна и микробиологично пречистване на отпадъците в тази база (АО-13-Concordia/03.10.2013). Както и за проекта "Lunar/Mars Simulator" - центрофуги с размера на модула „Леонардо“ на МКС, имитиращи гравитацията на Луната и Марс. Предлага се удължаване на живота на съществуване на МКС до 2024 г., което ни предоставя още 10 години възможността да се опитваме да използваме това уникално и скъпо съоръжение за научни изследвания дори и с разработваното от нас трето поколение на КО СВЕТ-3.

Заклучение

Изследванията в апаратурните комплекси EMCS и Biolab на ЕКА, намиращи се на борда на МКС в американския и европейския модул, имат значителен принос за развитието на Гравитационната космическа биология и попълването на познанията как растенията реагират на микрогравитация. В провежданите напоследък изследвания взаимодействието между светлината и гравитационни ефекти са все повече обект на внимание. За да се постигне съществен напредък в бъдеще, ще са необходими все по-добри експериментални условия и по-модерна аналитична апаратура, за експресно осъществяване на необходимите анализи на борда на МКС, както и при наземните синхронни експерименти, в които ще се включат и българските учени след осъществяването на проекта за дооборудване на лабораториите на ИКИТ по проекта ИКАМОС през 2014 година.

Литература:

1. Perino, M. A., C. Lobascio, S. Pastor, M. Maffei, Greenhouse: A Strategic Element to Support Humans in Space. *Beyond the International Space Station: The Future of Human Spaceflight, Space Studies Volume 7*, 2002, pp. 119-126.
2. Tikhomirov, A. A., S. A. Ushakova, N. P. Kovaleva, B. Lamaze, M. Lobo, Ch. Lasseur, Biological life support systems for a Mars mission planetary base: Problems and prospects. *Advances in Space Research*, 40, 2007, pp. 1741-1745.
3. Häuplik-Meusburger, S., R. Peldszus, V. Holzgethan Greenhouse design integration benefits for extended space flight. *Acta Astronautica*, 68, 2011, pp. 85-90.
4. Ruyters, G., M. Braun, Plant biology in space: Recent accomplishments and recommendations for future research. *Plant Biology*, 2014, Vol. 16, pp. 4-11.
5. Brinckmann, E., ESA hardware for plant research on the International Space Station. *Advances in Space Research*, 36, 2005, pp. 1162-1166.
6. EMCS - Experiment facility for plant biology research on the International Space Station, <http://wsn.spaceflight.esa.int/docs/Factsheets/13%20EMCS%20HR%20web.pdf>
7. Kiss, J. Z., K. D. L. Millar, P. Kumar, R. E. Edelmann, M. J. Correll, Improvements in the re-flight of spaceflight experiments on plant tropisms. *Advances in Space Research*, Vol. 47, 3, 1, 2011, pp. 545-552.
8. Kiss, J. Z., K. D. L. Millar, R. E. Edelmann, Phototropism of Arabidopsis thaliana in microgravity and fractional gravity on the International Space Station, *Planta*, Vol. 236, 2, 2012, pp. 635-645.
9. Ilieva, I., T. Ivanova, Y. Naydenov, I. Dandolo, D. Stefanov. Plant Experiments with Light-Emitting Diode Module in SVET Space Greenhouse. *Advances in Space Research*, Vol. 46, No. 7, 2010, pp. 840-845.
10. Zell, M., J. Weems, ESA'S 'real estate' in space: Columbus in orbit, *European Space Agency Bulletin*, Vol. 2008, 136, November 2008, pp. 32-41.
11. Kuebler, U., Utilization of the Columbus facilities BioLab, EMCS, PCDF, Cardiolab, FSL & MSL *Proceedings of 61st International Astronautical Congress 2010*, Vol. 12, 2010, pp. 10279-10282.
12. Scherer, G. F. E., P. Pietrzyk, Gravity-dependent differentiation and root coils in Arabidopsis thaliana wild type and phospholipase-A-I knockdown mutant grown on the International Space Station. *Plant Biology*, Vol. 16, 1, 2014, pp. 97-106.
13. Hendrickx, L., H. DeWever, V. Hermans, F. Mastroleo, N. Morin, A. Wilmotte, P. Janssen, M. Mergeay, Microbial ecology of the closed artificial ecosystem MELiSSA (Micro-Ecological Life Support System Alternative): reinventing and compartmentalizing the Earth's food and oxygen regeneration system for long-haul space exploration missions. *Research in Microbiology*, Vol. 157, 2006, pp. 77-86.
14. Poughon, L., B. Farges, C. G. Dussap, F. Godia, C. Lasseur, Simulation of the MELiSSA closed loop system as a tool to define its integration strategy. *Advances in Space Research*, 44, 2009, pp. 1392-1403.
15. Czapalla, M., G. Horneck, H. J. Blome, The conceptual design of a hybrid life support system based on the evaluation and comparison of terrestrial testbeds. *Advances in Space Research*, 35, 2005, pp. 1609-1620.